

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

P A R

Yaghoub FARZAN

1^{re} THÈSE. — " Comportement des dalles biaises en béton armé".

2^e THÈSE. — " Transmission de chaleur par rayonnement dans les fours".

Soutenues le 14 Mai 1968 devant la Commission d'examen.

MM. SIESTRUNCK *Président.*

VICHNIEVSKY
ROBINSON } *Examineurs.*

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

P A R

Yaghoub FARZAN

1^{re} THÈSE. — " Comportement des dalles biaises en béton armé ".

2^e THÈSE. — " Transmission de chaleur par rayonnement dans les fours ".

Soutenues le 14 Mai 1968 devant la Commission d'examen.

MM. SIESTRUNCK *Président.*

VICHNIEVSKY
ROBINSON } *Examineurs.*

THESIS

1888

LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

1888

LE JURY DE FACULTÉ

1888

Volume 1888

1888

1888

1888



1888

1888

1888

1888

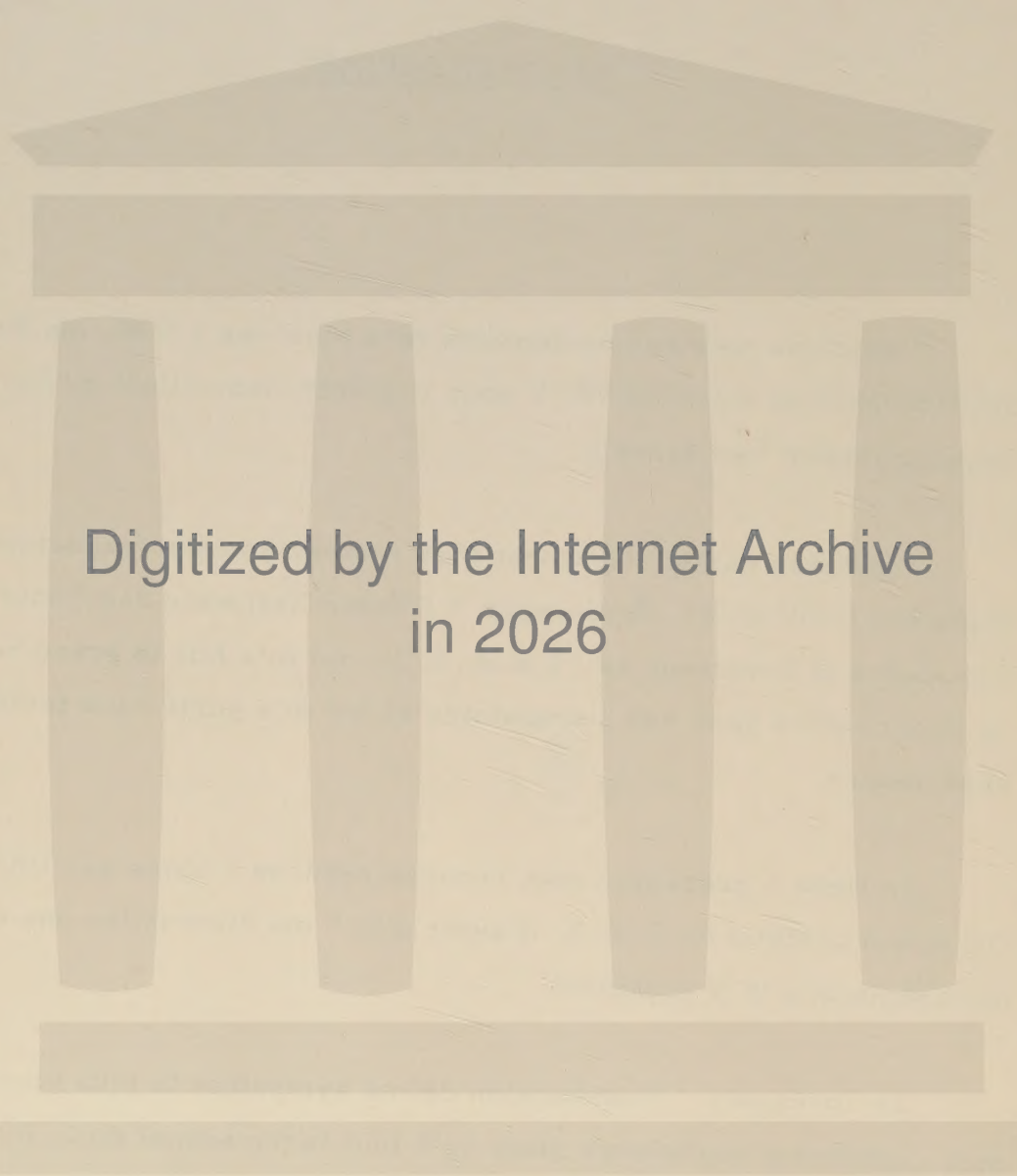
REMERCIEMENTS.

J'exprime mes remerciements très sincères à MM. les Professeurs SIESTRUNCK et VICHNIEVSKY pour l'intérêt bienveillant qu'ils ont bien voulu accorder à ce travail.

J'adresse particulièrement mes remerciements respectueux à Monsieur ROBINSON, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et Directeur de l'I. R. A. B. A. qui m'a fait le grand honneur de m'accueillir dans son Laboratoire et qui m'a guidé dans toutes les expériences.

Je tiens à présenter mes reconnaissances à Monsieur DREUX, Directeur-Adjoint du C. E. S. d'avoir mis à ma disposition une équipe de techniciens très qualifiés.

Je présente l'expression de ma sympathie la plus vive à tous mes camarades ingénieurs ainsi qu'à tout le personnel du C. E. S.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549932_0015

1 - INTRODUCTION

Dans le but d'étudier le comportement des dalles biaises en béton armé, six dalles longues et très biaises ont été essayées, sollicitées par une charge uniformément répartie et appuyées simplement sur leurs grands côtés les deux autres étant libres.

Les essais ont été réalisés dans le laboratoire du Centre d'Essais des Structures, sous la direction de Monsieur le Professeur J.R. ROBINSON.

2 - PIECES SOUMISES A L'ESSAI

Les dalles d'essai, de coffrages identiques, se différenciaient par le pourcentage et la disposition de leurs armatures. Elles étaient armées principalement d'acier "TOR" de diamètre nominal 5mm et confectionnées avec du "béton fin" contenant 83% d'éléments de grosseur inférieure à 8mm et aucun granulat de grosseur supérieure à 10mm. Comme acier d'effort tranchant, on a employé de l'acier tréfilé $\emptyset$ 2,7mm. Les autres caractéristiques de ces dalles sont consignées au tableau 1. Les figures 1 et 2 montrent leur ferrailage, chaque nappe d'armatures étant symétrique par rapport au centre de la dalle, seule la moitié a été représentée.

3 - DISPOSITIF D'ESSAI

La figure 3 représente le dispositif expérimental.

Ce dispositif comprend essentiellement une vessie de chargement qui agit sur les dalles de bas en haut et deux poutres horizontales ancrées sur la plateforme d'essais constituant les deux lignes d'appui.

Les charges ont été appliquées d'une façon cyclique.

Dans chaque cycle on a effectué les opérations suivantes :

- mesure de la charge appliquée,
- mesure des flèches par un nivellement direct,
- mesure des déformations relatives du béton et des aciers par cordes vibrantes et jauges à fil résistant,
- repérage et tracé des fissures, mesure de leur ouverture,

4 - CHOIX DES PIÈCES D'ESSAI

Le programme d'essai consistait à essayer une série de dalles orthotropes avec des rapports d'orthotropie différents. Les renseignements acquis à l'essai de chaque pièce nous ont conduits à améliorer l'arrangement de l'armature des pièces suivantes, en ayant toujours en vue notre programme initial.

D'après les études antérieures, l'importance du moment fléchissant négatif et de l'effort tranchant apparaissant dans les coins obtus, nous était connue. Il fallait donc armer ces coins sur leur face chargée. Cependant à titre de référence et pour bien mettre en évidence l'intensité de l'effet destructif des sollicitations dues à la forme biaise, nous n'avons prévu qu'une seule nappe d'armatures pour la dalle B Y 1.

A l'essai de celle-ci une rupture s'était produite dans les coins obtus sous une charge égale à 55% de la charge de rupture d'ensemble. Cette rupture prématurée a gagné rapidement une partie importante de l'étendue de la dalle. A l'état ultime, le fonctionnement de la dalle était presque assimilable à celui d'une dalle biaise ayant des entailles dans les coins obtus. Aussi, dans la suite des essais on s'est aperçu que le mécanisme de rupture de cette dalle était nettement différent de celui des autres dalles dont le développement de la rupture dans leurs coins obtus était contenu.

La deuxième dalle BY 2 était armée avec une nappe d'armature sur sa face non chargée, et une nappe dans chaque coin obtus sur la face chargée.

L'utilisation de deux nappes d'armature dans les coins obtus avait considérablement amélioré le comportement de ces coins. Leur rupture était retardée, moins fragile et moins étendue. Toutefois, elle s'était produite avant que la résistance d'ensemble à la flexion ne soit épuisée.

La dalle BY 3 était une dalle orthotrope. Elle possédait le même pourcentage d'aciers transversaux que la dalle isotrope BY 2 et la moitié en aciers longitudinaux. L'essai de cette dalle a montré l'influence défavorable de la diminution des aciers longitudinaux surtout sur le comportement des coins obtus. La rupture de ces coins était plus grave et plus étendue que dans le cas de la dalle BY 2. Etant donné que près des coins obtus, les fissures ainsi que les lignes de rupture ne sont pas parallèles à la direction longitudinale, les efforts sont alors partagés entre les aciers transversaux et longitudinaux. Une diminution des aciers longitudinaux a donc entraîné un affaiblissement de la dalle dans cette zone. Ce qui nous a conduits à maintenir l'isotropie dans les zones des angles obtus pour les dalles suivantes.

La rupture des coins obtus est en partie due à l'apparition d'un effort tranchant notable, lors du chargement des dalles. Il est connu que la résistance à la flexion biaxiale assure en général la résistance des dalles à l'effort tranchant. Nous nous attendions à une propriété analogue pour la résistance des coins obtus, et nous avons pensé que la rupture des coins obtus de la dalle BY 3 pourrait être due à l'effet du hasard. C'est pourquoi il a été disposé le même type d'armature en deux nappes dans les coins obtus de la dalle BY 4. Mais la rupture prématurée des coins de cette dalle a montré l'insuffisance de l'emploi de deux nappes d'armature pour assurer la résistance des coins obtus. Comme nous l'expliquerons au paragraphe 5, 2 la particularité des coins obtus a empêché la réalisation parfaite des phénomènes qui permettent d'assurer la résistance des dalles sans avoir besoin des armatures spéciales de l'effort tranchant.

C'est pourquoi dans les dalles BY 5 et BY 6, nous avons disposé dans chaque coin obtus deux lignes d'acier enroulé en forme hélicoïdale, parallèles aux bords, et serrées entre les deux nappes d'acier.

La forme de l'armature a été adoptée à la suite de la faible épaisseur des corps d'épreuve. Ces armatures dites d'effort tranchant étaient destinées à assurer la résistance au cisaillement des angles obtus.

5 - COMPORTEMENT A LA RUPTURE DES DALLES BIAISES

5,1 - Résistance à la flexion

5,1,1 - Mécanisme de rupture

Sauf pour la dalle BY 1, dont le mécanisme de rupture a été nettement influencé par la fragilité des coins, toutes les autres dalles ont présenté à la rupture le même aspect. Ces ruptures sont caractérisées par des fissures largement ouvertes sur la face supérieure. On a remarqué que ces fissures, qui représentent les lignes de rupture positives, partent des bords libres puis s'incurvent autour des coins obtus. Parallèlement, il se forme une large fissure suivant la ligne médiane de la dalle qui vient rencontrer tangentielllement les lignes de rupture courbes (figures 4, et 5 à 8 pour la dalle BY 5).

Après la rupture et le démontage des pièces on s'aperçoit que sur la face inférieure, le béton est écrasé suivant les lignes de rupture positives, que des fissures divergentes sont apparues dans les coins obtus. Les grandes elongations des jauges collées sur la face inférieure dans les coins obtus et suivant la direction des appuis, nous ont montré que ces fissures avaient de grande ouverture à la rupture.

Ces constatations ont conduit à admettre la formation d'un mécanisme de rupture conique dans les coins obtus.

L'apparition d'une rupture conique nécessite l'existence d'une charge concentrée agissant sur l'axe des cônes de rupture.

Comme nous le verrons au paragraphe 5,1 1 1, cette charge concentrée existe et elle est due à la concentration des réactions d'appui dans les coins obtus des dalles biaises simplement posées sur deux côtés et uniformément chargées.

On trouve au voisinage des coins obtus, un mécanisme de rupture dû à cette réaction d'appui concentrée avec des charnières curvilignes et radiales de signes différents, et dans la partie centrale une charnière rectiligne coïncidant avec la ligne médiane. La charnière curviligne périphérique est tangente à cette ligne et la charnière radiale extrême passe par le point de tangence (figure 4). A chaque coin obtus, les lignes de rupture radiales convergent au point d'application de la force concentrée et sont limitées par la ligne curviligne périphérique qui a la forme d'un arc de cercle lorsque la dalle est isotrope.

5,1,1,1. - Réaction des appuis.

Bien que nous n'ayons pas évalué quantitativement la répartition des réactions suivant les lignes d'appui, toutefois nos essais ont montré une concentration de la réaction dans les coins obtus et les études antérieures sont unanimes à ce point de vue. Parmi ces études citons les résultats obtenus dans les essais de IM. A. MENDEL et H. WEISE.*

Dans une dalle posée sur deux lignes d'appuis ponctuels et rigides suivant ses deux côtés opposés et uniformément chargée, la répartition des réactions présente l'allure d'une oscillation décroissante. A une force de compression extrêmement élevée dans l'angle obtus, correspond une force beaucoup plus faible aux points voisins de cet angle qui peut devenir une traction ; la courbe monte de nouveau puis elle redescend jusqu'à des valeurs proches de zéro au droit de l'angle aigu.

* A. MENDEL und H. WEISE

"Modellstatische Untersuchung punktformig gestützter schiefwinkliger Platten unter besonderer Berücksichtigung der elastischen auflagernachgiebigkeit". Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. 1964. Heft 161.

Plus le nombre des points d'appui est élevé, plus le caractère des oscillations est marqué. Plus l'angle du biais est petit, plus le contraste est sensible entre les premiers points d'appui. Par conséquent la réaction du coin obtus croît avec le biais de la dalle.

En nous basant sur les résultats des mesures de la référence précitée, nous avons déterminé la figure 9 qui est une représentation du moins qualitative de la répartition de réaction dans le cas d'un modèle ayant la forme de nos dalles d'essai et appuyé sur neuf points rigides dans chaque ligne d'appui.

5.1.1.2 - Equilibre au voisinage des bords libres

Au voisinage des bords libres jusqu'à un certain angle γ (figure 4) les charnières radiales ne peuvent pas se produire, et les charnières positives seront des lignes droites tangentes aux charnières circulaires.

Dans les calculs qui suivent nous ne considérerons que les dalles isotropes puisque par la méthode "d'affinité" le calcul d'une dalle orthotrope se rapporte à celui d'une dalle isotrope.

Supposons que le moment résistant positif est égal à m par unité de longueur des charnières positives, et le moment résistant négatif m' par unité de longueur des charnières négatives, quelle que soit leur direction.

Pour déterminer la valeur de l'angle γ , écrivons l'équilibre des moments agissant sur le morceau "B" autour de la charnière AF. La partie "B" est soumise :

- aux moments résistants le long des charnières AP et AB ,
- à la charge uniformément répartie avec l'intensité p ,
- à une partie de la réaction concentrée au point P ,
- enfin, à la force nodale Q .

La théorie des lignes de rupture de JOHANSEN* nous dit qu'au point de rencontre de chaque ligne de rupture avec un bord libre il faut tenir compte des forces nodales. L'intensité absolue de ces forces est égale à :

$$Q = m \cot \beta$$

et leur sens est montré sur la figure 4 .

β indique l'angle aigu entre la ligne de rupture et le bord libre.

Donc dans la rotation autour de l'axe AP, les moments agissants sont

- le moment résistant à la charnière négative AP :

$$- am'$$

- le moment de la force nodale Q :

$$mtg \gamma . a . tg \gamma = amtg^2 \gamma$$

- le moment de la charge répartie p :

$$p \frac{a . atg \gamma}{2} . \frac{a tg \gamma}{3} = p \frac{a^3 . tg^2 \gamma}{6}$$

La condition d'équilibre des moments s'exprime :

$$am' - amtg^2 \gamma - p \frac{a^3 . tg^2 \gamma}{6} = 0$$

en posant

$$\frac{m'}{m} = K$$

nous aurons :

$$tg \gamma = \sqrt{\frac{K}{\frac{pa^2}{6m} + 1}} \quad (1)$$

5,1,2 - Charge de rupture

La charge de rupture peut être obtenue par la méthode des travaux virtuels.

* K.W. JOHANSEN

Imposons à la ligne médiane une flèche égale à 1 (figure 4). Cette déformation est équivalente à la rotation $\vec{\varphi} = \frac{1}{a}$ de l'ensemble de la dalle autour de l'axe P'R et la rotation φ_2 des parties "A", "B" et "C" autour des charnières positives. Avec la première rotation la ligne PR' prend une flèche de 2. Pour l'amener au niveau des appuis, il faut imposer aux charnières positives la rotation $\vec{\varphi}_2 = \frac{2}{a}$.

En raison de la symétrie nous pouvons faire les calculs pour la moitié droite de la dalle.

Le travail virtuel de la charge uniforme ultime p_u lié à la première rotation est égal à :

$$p_u \left(\frac{b_0}{2} \cdot 2a + \frac{2a \cdot 2a \cotg \alpha}{2} \cdot \frac{2}{3} \right) = a p_u (b_0 + \frac{4}{3} a \cotg \alpha)$$

Le travail virtuel de la même charge dans la deuxième rotation sera

$$- p_u \left(\frac{b_0}{2} \cdot a + \frac{a^2 \omega}{3} + \frac{a^2 \tg \gamma}{3} \right) = - a p_u \left(\frac{b_0}{2} + \frac{a \omega}{3} + \frac{a \tg \gamma}{3} \right)$$

Dans le travail des forces extérieures lié à une déformation cinématiquement admissible qui apporte une flèche égale à 1 sur la ligne médiane, est égal à :

$$W_e = a p_u \left(\frac{b_0}{2} + \frac{4}{3} a \cotg \alpha - \frac{a \omega}{3} - \frac{a \tg \gamma}{3} \right)$$

Le travail des moments internes dans la première rotation, est nul puisque les appuis sont des appuis simples. Le travail des moments internes en deuxième rotation est la somme des travaux suivants :

$$- \text{travail de la charnière OC : } \frac{b_0}{2} \cdot m \cdot \frac{2}{a} = m \frac{b_0}{a},$$

$$- \text{travail du mécanisme conique : } 2 \omega (m + m'),$$

$$- \text{travail de la charnière AB : } m \cdot a \tg \gamma \cdot \frac{2}{a} = 2 m \tg \gamma.$$

Ainsi le travail des moments internes sera :

$$W_i = m \frac{bo}{a} + 2 \omega (m + m') + 2 m \operatorname{tg} \gamma$$

L'égalité des travaux virtuels nous donne :

$$ap_u \left(\frac{bo}{a} + \frac{4}{3} a \cotg \alpha - \frac{a \omega}{3} - \frac{a \operatorname{tg} \gamma}{3} \right) = m \frac{bo}{a} + 2 \omega (m + m') + 2 m \operatorname{tg} \gamma$$

d'où :

$$p_u = \frac{m \frac{bo}{a} + 2 \omega (m + m') + 2 m \operatorname{tg} \gamma}{a \left(\frac{bo}{2} + \frac{4}{3} a \cotg \alpha - \frac{a}{3} - \frac{a \operatorname{tg} \gamma}{3} \right)} \quad (2)$$

et

$$\frac{p_u a^2}{m} = \frac{\frac{bo}{a} + 2 \omega (1 + K) + 2 \operatorname{tg} \gamma}{\frac{bo}{2a} + \frac{4}{3} \cotg \alpha - \frac{1}{3} - \frac{\operatorname{tg} \gamma}{3}}$$

$$\text{On a évidemment : } \omega = \frac{\pi}{2} - \alpha - \gamma \quad (3)$$

A l'aide de trois équations (1), (2) et (3), on peut trouver la charge ultime p_u .

5.1.2.1 - Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux

Les moments résistants ultimes des dalles essayées sont donnés dans le tableau suivant .

Dalle	Moment résistant unitaire (Kgm/m)			
	Sections lon- gitudinales.	Sections trans- versales.	Sections lon- gitudinales.	Sections transv- ersales
	m_x	m_y	m'_x	m'_y
BY 1	740	740	000	000
BY 2	733	733	000 (733)	000 (733)
BY 3	748	374	000 (748)	000 (374)
BY 4	722	361 (722)	000 (722)	000 (722)
BY 5	1029	343 (1029)	000 (1029)	000 (1029)
BY 6	713	357 (713)	000 (713)	000 (713)

Les chiffres entre parenthèses indiquent les moments résistants dans le voisinage des coins obtus.

La rupture de la dalle BY 1 a été nettement influencée par la rupture d'effort tranchant des coins obtus. La théorie des lignes de rupture, qui exige la résistance à l'effort tranchant des dalles, n'est pas applicable au cas de cette dalle.

D'après les équations (1) et (2) pour les dalles BY 2, BY4, BY 6 ($K = 1$; $\cotg \alpha = 2$), nous aurons $\frac{p u a^2}{m} = 1,72$.

Bien que les dalles BY 4, BY 5 et BY 6 ne soient pas isotropes dans toute leur étendue, mais du fait de leur isotropie pour le tracé du mécanisme d'écoulement nous appliquons le calcul à la rupture des dalles isotropes également à ces dalles. Dans leur partie orthotrope la ligne de rupture est perpendiculaire aux aciers transversaux (ayant le pourcentage maximum), et c'est dans leurs parties isotropes (ayant le même pourcentage maximum) que les lignes de rupture changent de direction.

En utilisant la méthode d'affinité pour la dalle orthotrope BY 3 , nous obtenons $\frac{p_u a^2}{m} = 1,55$

Le tableau suivant contient les charges ultimes théoriques et expérimentales, et leurs rapports.

Dalle	Charge ultime expérimentale P_e en Kg/m^2	Charge ultime théorique P_t en Kg/m^2	$\frac{P_e}{P_t}$
BY 2	3500	3400	1,03
BY 3	3350	3140	1,07
BY 4	3150	3340	1,05
BY 5	4800	4770	1,01
BY 6	3550	3300	1,07

Les charges ultimes expérimentales et théoriques sont en conformité satisfaisante.

5, 2 - Rupture prématurée des coins obtus et leurs problèmes particuliers

La coexistence de l'effort tranchant et du moment fléchissant négatif dans les coins obtus, pose des problèmes particuliers pour les dalles biaises en béton armé.

Sous l'action combinée de la flexion et de l'effort tranchant, les fissures apparaissent sur la face chargée des coins obtus. Si la dalle n'est pas armée sur cette face, la résistance de la dalle en ces points devient nulle dès l'apparition des fissures.

L'essai de la dalle BY 1 a montré qu'une rupture brutale a succédé à la fissuration. C'était une rupture locale et prématurée qui s'est produite avant la rupture d'ensemble.

En général, dans une dalle soumise à une charge concentrée, il peut se former un mécanisme d'écoulement conique autour de la charge. Alors, si la dalle est armée dans deux directions perpendiculaires, tant que la contrainte des aciers n'atteint pas la limite élastique, la propagation des fissures circonférentielles met en jeu la résistance à la flexion de la dalle dans les sections radiales. C'est cette possibilité de transmission de la charge par flexion biaxiale qui assure la résistance des dalles à l'effort tranchant, sans avoir besoin d'armature d'effort tranchant.

En utilisant deux nappes d'aciers dans les coins obtus des dalles BY 2, BY 3 et BY 4, on s'attendait à ce que d'une manière analogue la rupture prématurée de ces coins soit évitée, sans avoir besoin des aciers d'effort tranchant. L'essai de ces trois dalles nous a montré le contraire.

Cela peut s'expliquer par les considérations suivantes.

Dans le cas des coins obtus des dalles biaises d'une part, l'un des bords est posé sur l'appui rectiligne ce qui exclut, compte tenu de la figure de rupture totale, la possibilité de formation du mécanisme conique dans un angle égal à $\frac{\pi}{2}$ à partir de la ligne d'appui.

D'autre part, le moment négatif d'encastrement des bandes obliques dans les coins obtus, fait apparaître des fissures presque perpendiculaires aux appuis. Ainsi la formation du mécanisme conique est limitée à un petit angle, et à côté de ce mécanisme la dalle est découpée en des bandes presque parallèles.

Alors, l'équilibre de la dalle dans la zone de réaction concentrée n'est plus celui d'une dalle, mais il peut être assimilé à celui de poutres juxtaposées. La résistance à l'effort tranchant de ces poutres est précaire, puisqu'elles ne comportent pas d'armature d'effort tranchant. C'est ce phénomène qui explique la rupture prématurée des coins obtus dans les dalles BY 2, BY 3 et BY 4, malgré l'emploi de deux nappes d'armature. Il justifie également l'utilisation des aciers d'effort tranchant dans les coins obtus des dalles BY 5 et BY 6.

L'efficacité de l'utilisation d'une deuxième nappe d'aciers dans la face chargée des coins obtus et des aciers d'effort tranchant, est mise en évidence dans le tableau suivant. Il indique les charges de rupture des coins obtus, leur rapport à la charge ultime et à la charge de rupture des coins obtus de la dalle BY 5

Dalle	Charge de rupture des coins obtus en Kg/m ²	Pourcentage par rapport à la charge de rupture d'ensemble.	Pourcentage par rapport à la charge de rupture des coins obtus de BY 5
BY 1	1750	55 %	47 %
BY 2	2000	57 %	53 %
BY 3	2000	60 %	53 %
BY 4	2000	57 %	53 %
BY 5	3750	78 %	100 %
BY 6	3250	92 %	87 %

6 - COMPORTEMENT DES DALLES D'ESSAI AU COURS DES CHARGEMENTS

INTERPRETATION DES RESULTATS D'ESSAI

6, 1 - Déformation des dalles

Les figures 10 à 15 donnent les flèches au droit des différents points de mesure situés sur la moitié ouest (dans la position d'essai) de la dalle BY 5, en fonction des charges appliquées. Sur ces figures, pour chaque ligne de mesure nous avons indiqué la charge d'apparition des fissures, car par leur direction et leur emplacement, elles pouvaient avoir une influence notable sur les flèches de cette ligne.

Dans les diagrammes flèches-charges des points assez éloignés des coins, soit aigus, soit obtus, il est facile de discerner trois stades successifs. Le premier correspond à l'état de la dalle non fissurée, le deuxième à celui de la dalle fissurée avant que les contraintes des aciers atteignent leur limite d'écoulement, et le dernier est celui de la dalle proche de l'état ultime.

L'augmentation relative des flèches durant le deuxième stade est plus rapide que dans le premier. Ceci est dû à la diminution de la rigidité consécutive à la fissuration.

Dans le troisième stade, les contraintes de tous les aciers traversant les lignes de rupture atteignent la limite d'écoulement, les charnières plastiques se forment et les flèches augmentent rapidement sous l'effet d'un accroissement faible de la charge.

En examinant les courbes flèches-charges des points précités, on s'aperçoit que dans les différents stades les déformations augmentent de façon sensiblement linéaire avec l'accroissement des charges. On peut schématiser chaque diagramme par trois droites successives, de pente décroissante à partir de la première qui correspond à la phase du béton non-fissuré, et les deux autres aux deuxième et troisième stades. Le diagramme ainsi schématisé est dit "diagramme trilinéaire".

Pour les points situés suffisamment près du coin obtus, la forme des courbes flèches-charges diffère du diagramme trilinéaire. Les diagrammes en ces points prennent la forme d'une courbe continue dont la concavité est tournée vers les flèches croissantes. Plus le point est approché du coin obtus, plus cette caractéristique est marquée. L'explication de ce fait semble provenir des déformations dues à l'effort tranchant. Ces déformations s'ajoutant à celle provenant du moment fléchissant affectent la forme trilinéaire des diagrammes flèches-charges, qui caractérise les déformations résultant du moment fléchissant seul.

Sur la figure 16, nous avons représenté les déformées des dalles BY 5 et BY 6 sous la charge de 2000 Kg/m^2 au moyen de courbes de niveau. Ces déformées sont des surfaces gauches en forme de selle de cheval.

Les points de flèche maximale se trouvent toujours sur les bords libres, plus proches des coins obtus. L'emplacement de ces points varie peu avec la charge et l'arrangement des armatures. Sous la charge de 2000 Kg/m^2 , les points de flèche maximale se trouvent à peu près à $1/3$ de la portée oblique dans les dalles BY 1, BY 2, BY 3 et BY 4, tandis que pour les dalles BY 5 et BY 6 ce rapport est de l'ordre de $2/5$.

6, 2 - Contraintes et déformation des aciers

Les figures 17 à 20 montrent les contraintes des aciers longitudinaux et transversaux de la nappe supérieure de la dalle BY 5 en fonction des charges.

Tous les aciers transversaux travaillent toujours à la traction sauf ceux des angles aigus qui supportent parfois des contraintes de compression. Mais ce sont de faibles contraintes qui ne dépassent jamais -20 Kg/cm^2 .

Dans les diagrammes contraintes-charges des aciers tendus, on discerne aussi trois stades successifs. Dans le premier stade qui correspond à la dalle non fissurée, le béton tendu est opérant. C'est pourquoi l'augmentation des contraintes est relativement lente. Durant le deuxième stade l'accroissement des contraintes est beaucoup plus rapide que dans le premier. Dans le troisième stade après la plastification des aciers, l'allongement des aciers augmente rapidement sous l'effet d'un accroissement peu important de la charge. Néanmoins l'accroissement des contraintes déterminées à partir des déformations mesurées en utilisant les diagrammes de traction des aciers, est moins rapide que dans le deuxième stade.

6, 3 - Fissuration

A titre d'exemple, l'évolution des fissures sur la face supérieure de la dalle BY 5 est présentée par les figures 5 à 7. La dernière photographie (figure 8) présente la fissuration de la face inférieure après la rupture et le démontage de la dalle.

Les premières fissures ont apparu sur les bords libres, depuis le milieu vers l'angle obtus. Sur le bord libre, ce faisceau de fissures qui forme avec les lignes d'appui un angle d'environ 40° , va en s'inclinant vers le centre. En face des coins obtus, l'angle est d'environ 15° , et dans le centre des dalles les fissures se prolongent parallèlement à la ligne des appuis.

Les fissures apparaissant au voisinage proche des coins obtus entourent ces coins, et celles du milieu des bords libres se prolongeant jusqu'à l'appui opposé.

7 - CONCLUSIONS

Les conclusions suivantes sont justifiées par les résultats de ces essais.

- 1° - La théorie des lignes de rupture est applicable dans le cas des dalles biaises appuyées simplement sur deux côtés et uniformément chargées, pourvu qu'on prenne en compte le mécanisme réel de rupture, et que la résistance à l'effort tranchant soit assurée.

Le mécanisme de rupture d'une dalle biaise, appuyée sur deux côtés et uniformément chargée est le résultat de l'apparition des charnières plastiques curvilignes et radiales dans les coins obtus qui s'accocient avec la charnière rectiligne coïncidant à la ligne médiane dans la partie centrale.

- 2° - Les coins obtus sont les lieux de concentration de l'effort tranchant et du moment négatif importants.

Il faut porter une attention particulière sur l'arrangement des aciers dans les coins obtus. L'emploi de deux nappes d'aciers, ainsi que des aciers d'effort tranchant est indispensable.

- 3° - Dans les coins obtus, le rôle des aciers longitudinaux est aussi important que celui des aciers transversaux. Il faut garder l'isotropie des dalles en ces points. Dans la partie centrale et dans les coins aigus, on peut diminuer le pourcentage des aciers longitudinaux.
- 4° - Pour obtenir des charges de service élevées, il ne suffit pas d'augmenter seulement le pourcentage des aciers, il faut également améliorer la rigidité des dalles, au moins sur les bords libres.

Caractéristiques des dalles d'essai.

Les chiffres entre parenthèses indiquent le pourcentage ($\sigma\%$) et l'écartement (e) des aciers dans les coins obtus.

FIGURE 1 _PLAN DE FERRAILLAGE

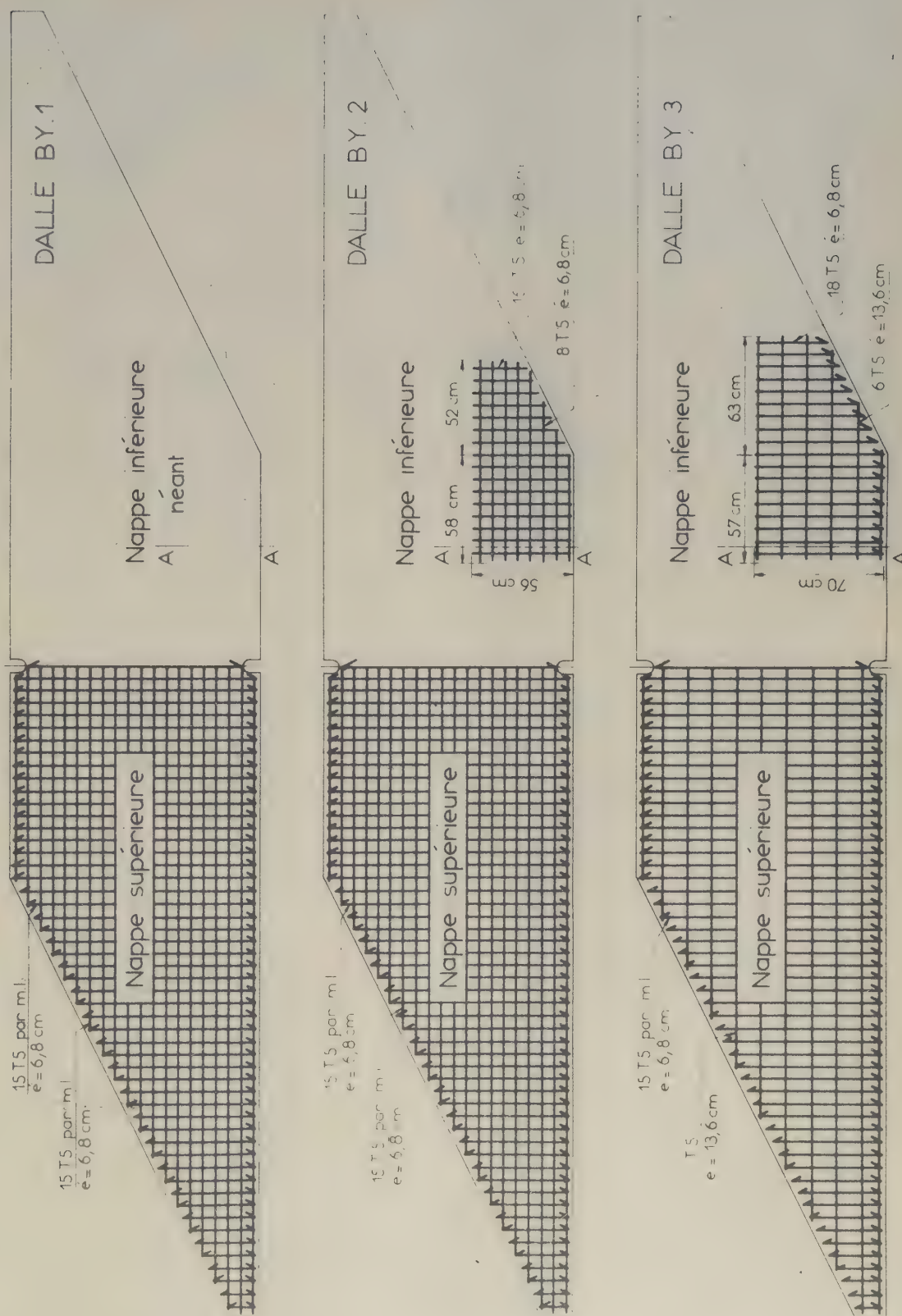
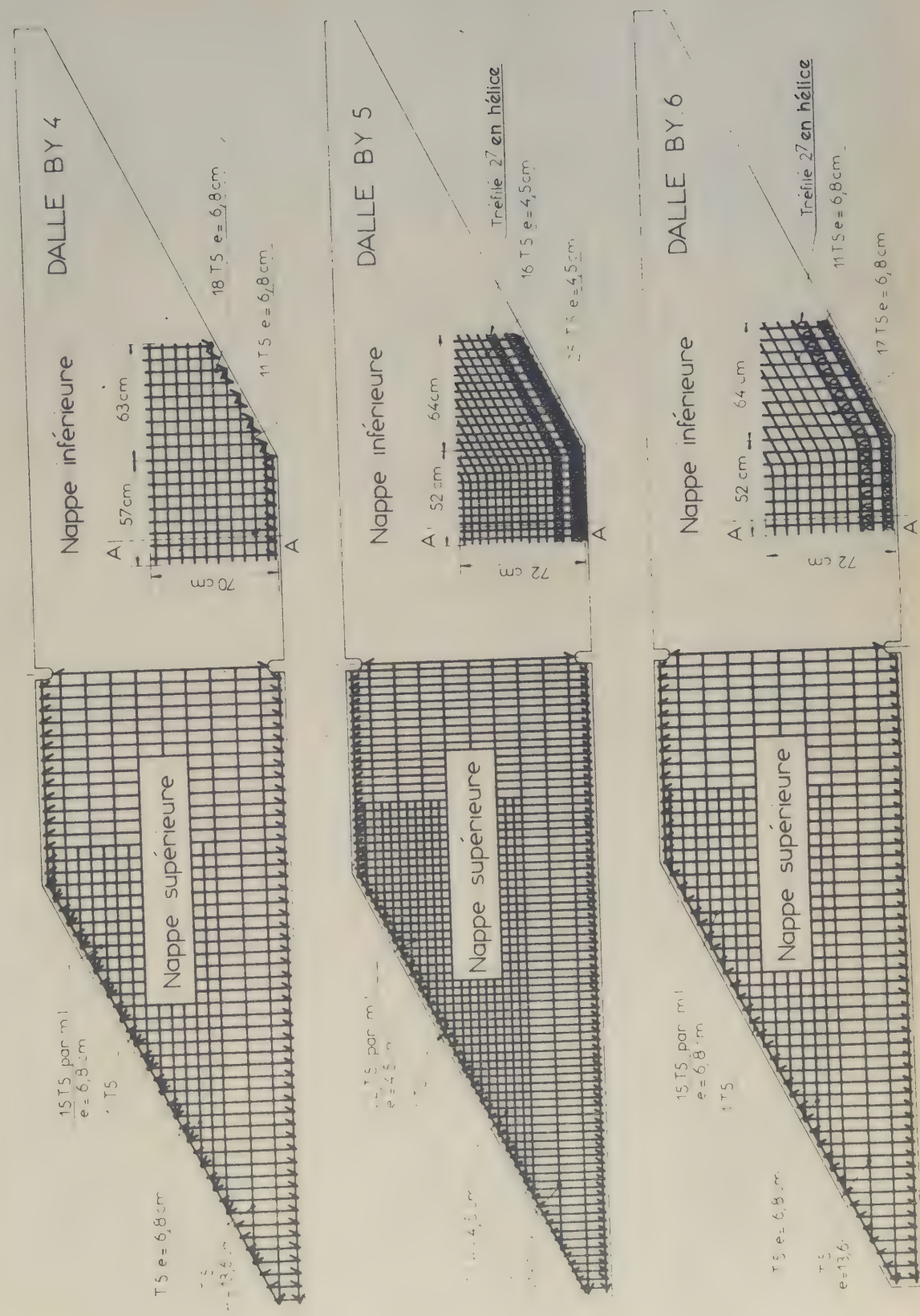


FIGURE 2 _PLAN DE FERRAILLAGE



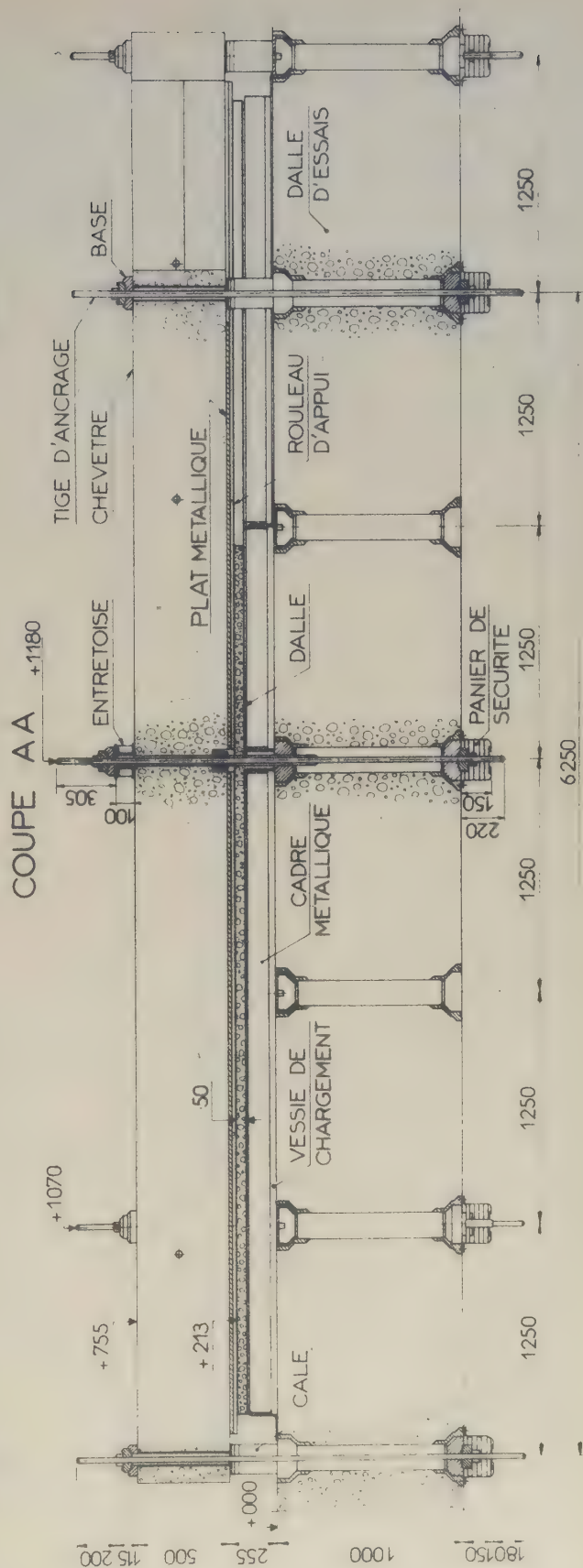
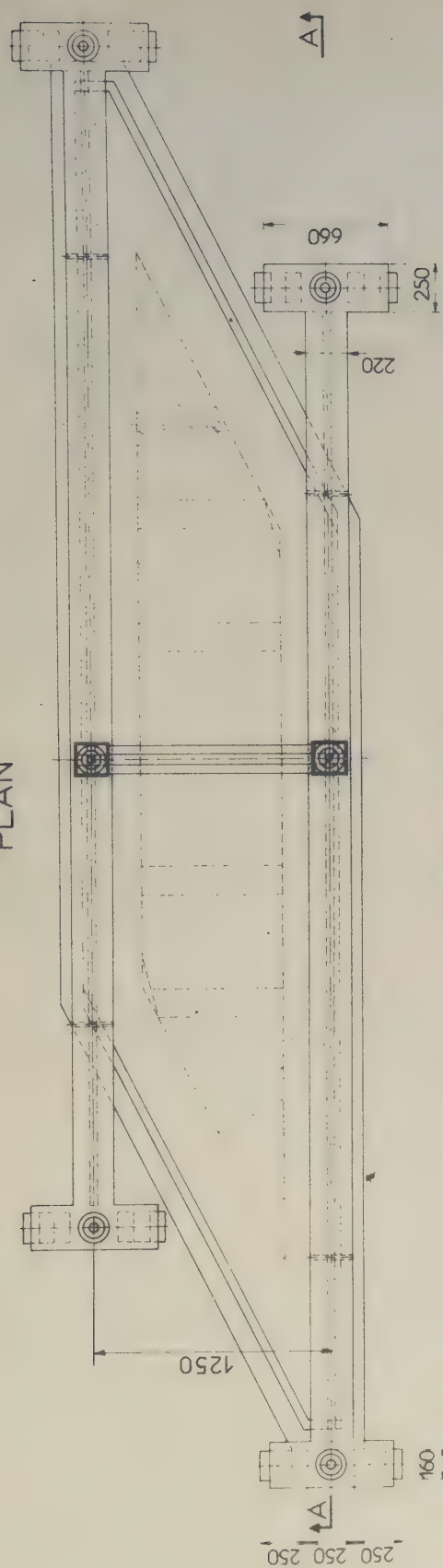
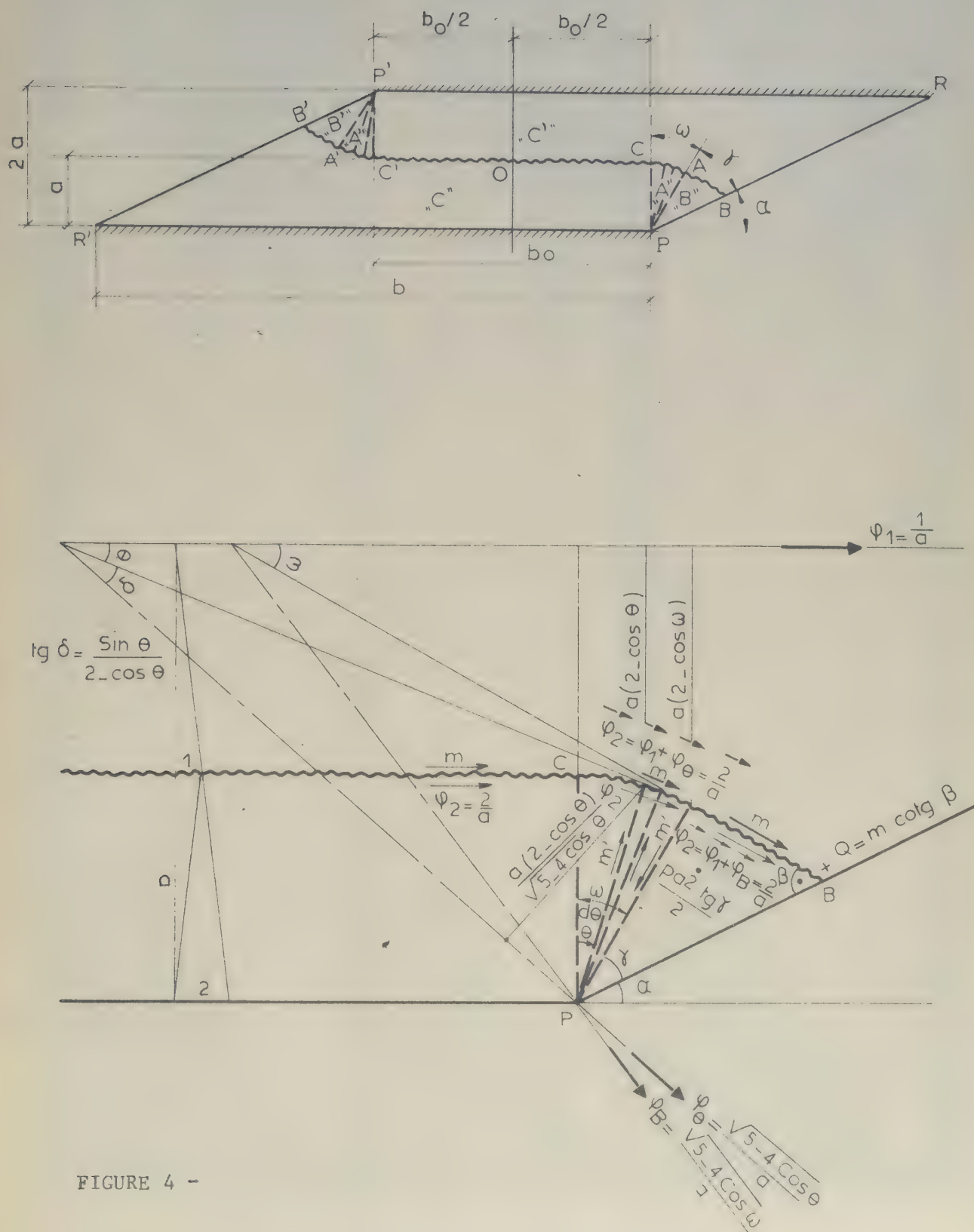


FIGURE 3 — ENSEMBLE DU DISPOSITIF D'ESSAI



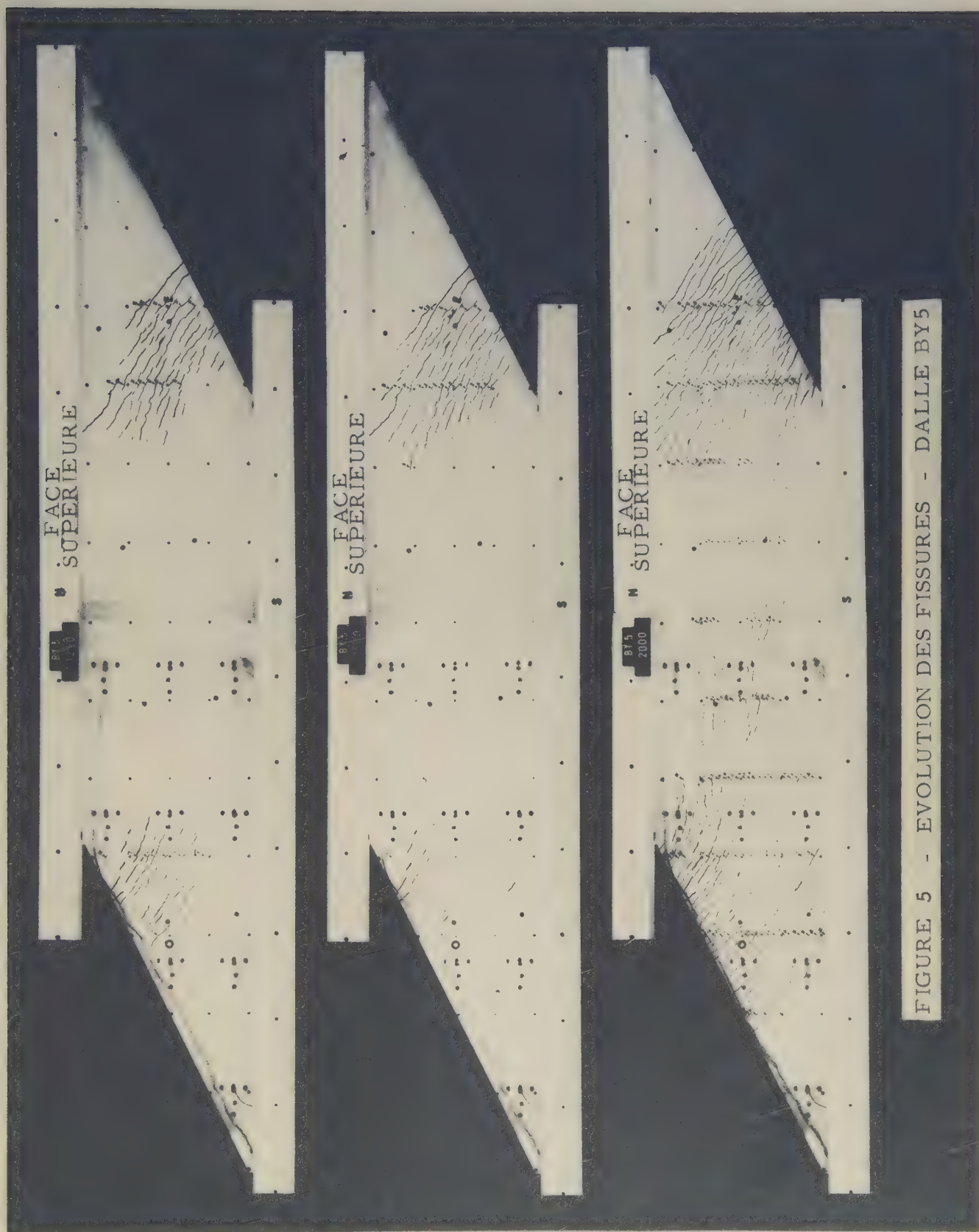


FIGURE 5 - EVOLUTION DES FISSURES - DALLE BY5

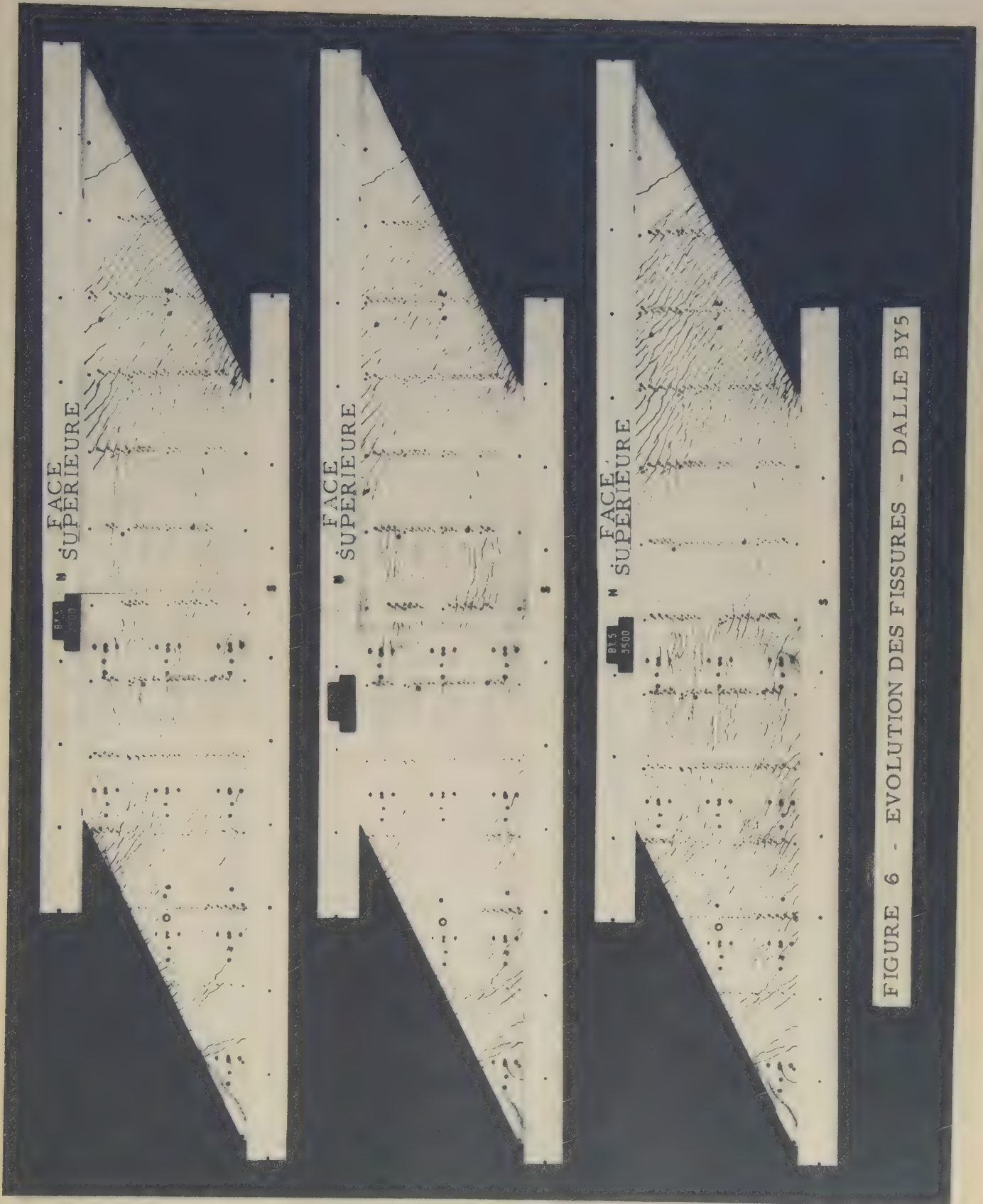


FIGURE 6 - EVOLUTION DES FISSURES - DALLE BY5

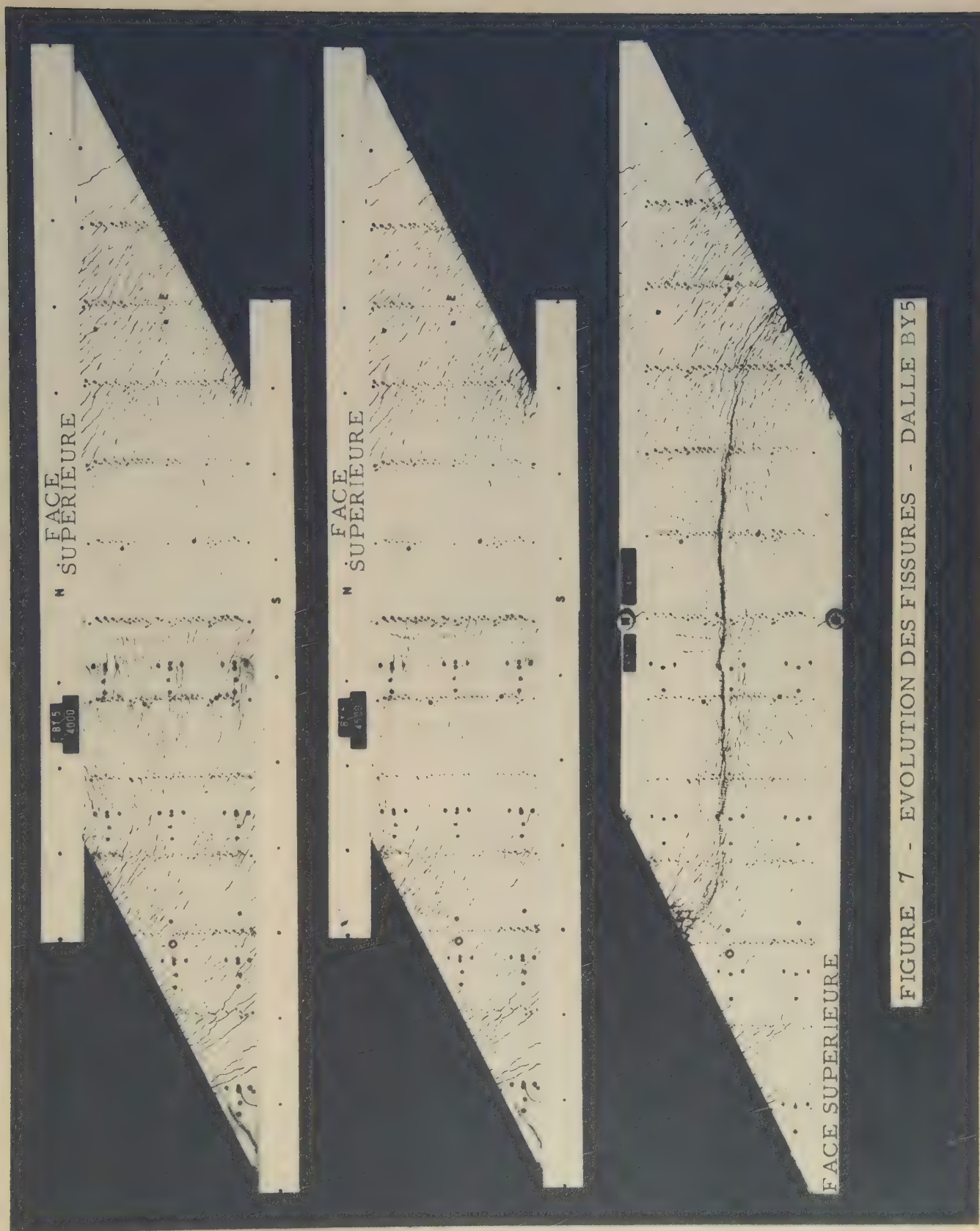


FIGURE 7 - EVOLUTION DES FISSURES - DALLE BY5



FIGURE 8 - EVOLUTION DES FISSURES - DALLE BY5

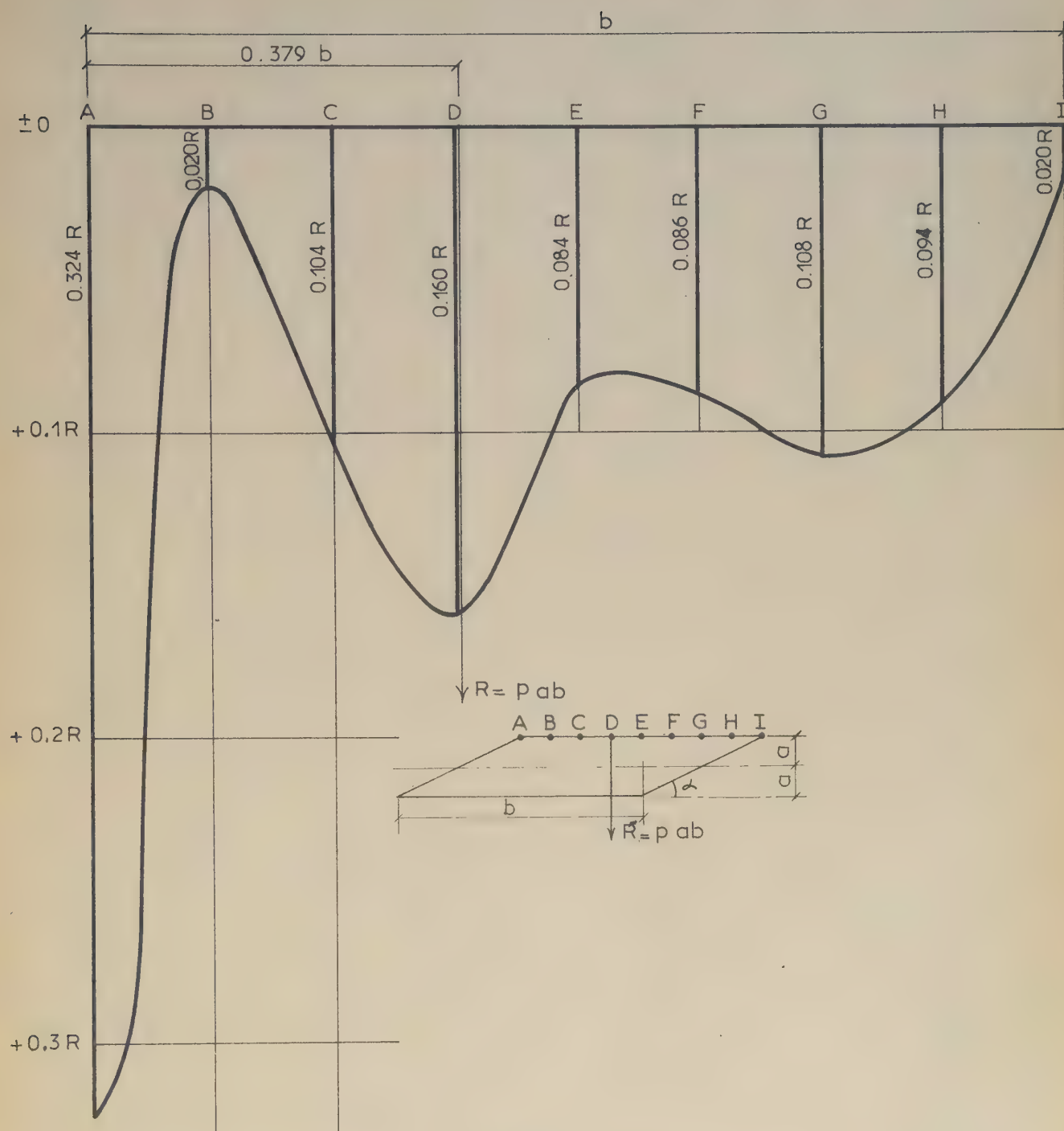


FIGURE 9

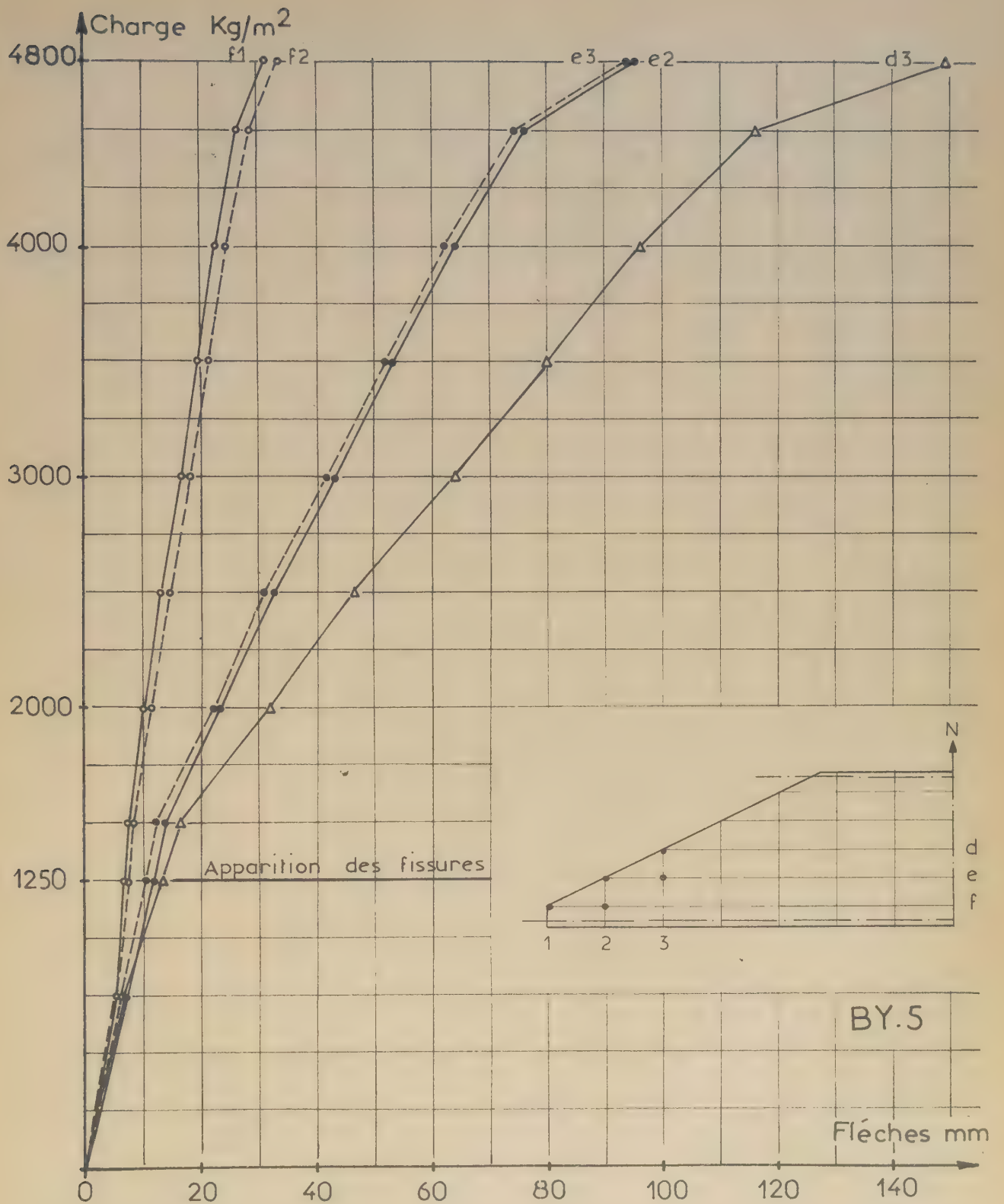


FIGURE 10 - Evolution des flèches en fonction des charges appliquées

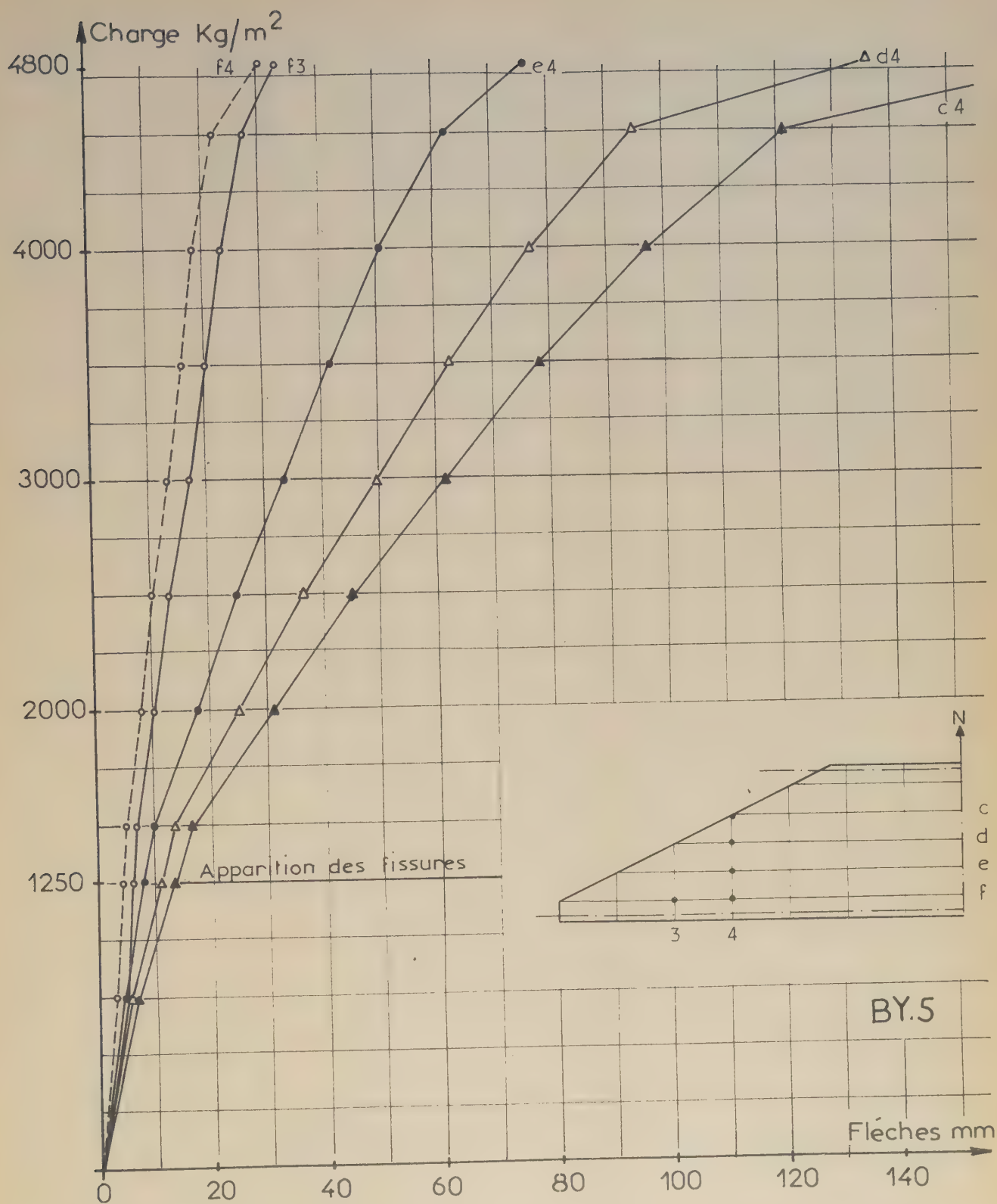


FIGURE 11 - Evolution des flèches en fonction des charges appliquées

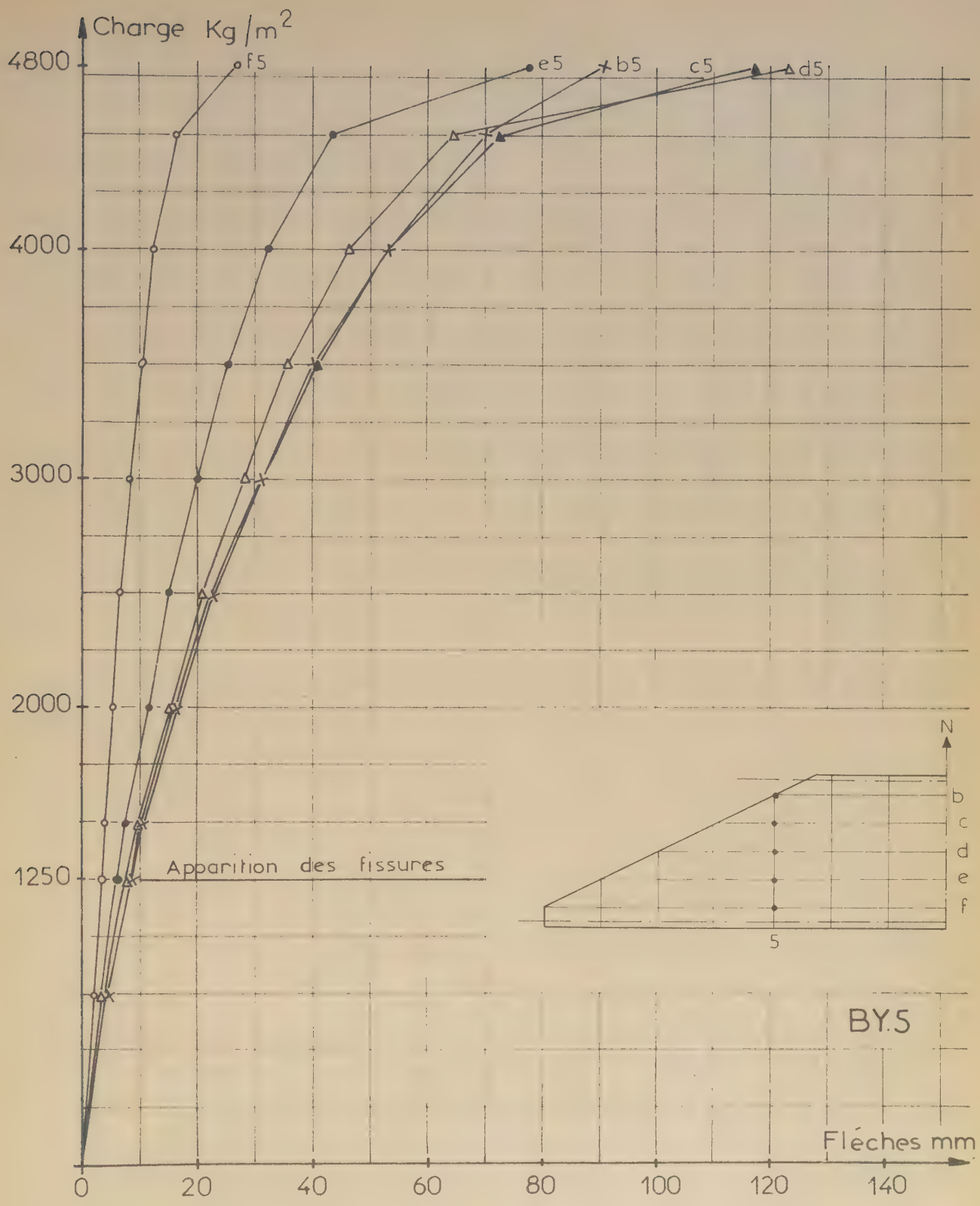


FIGURE 12 - Evolution des flèches en fonction des charges appliquées

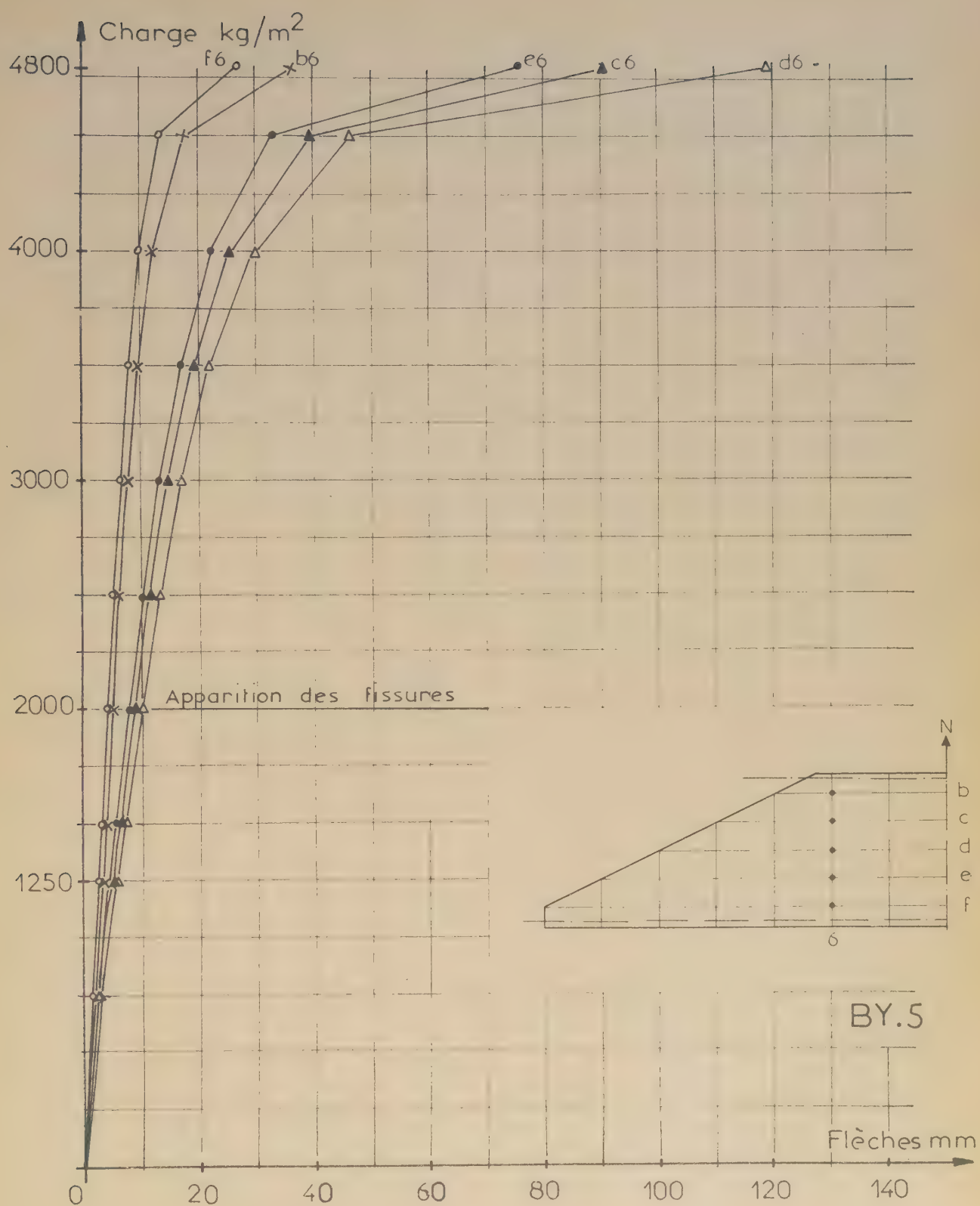


FIGURE 13 - Evolution des flèches en fonction des charges appliquées

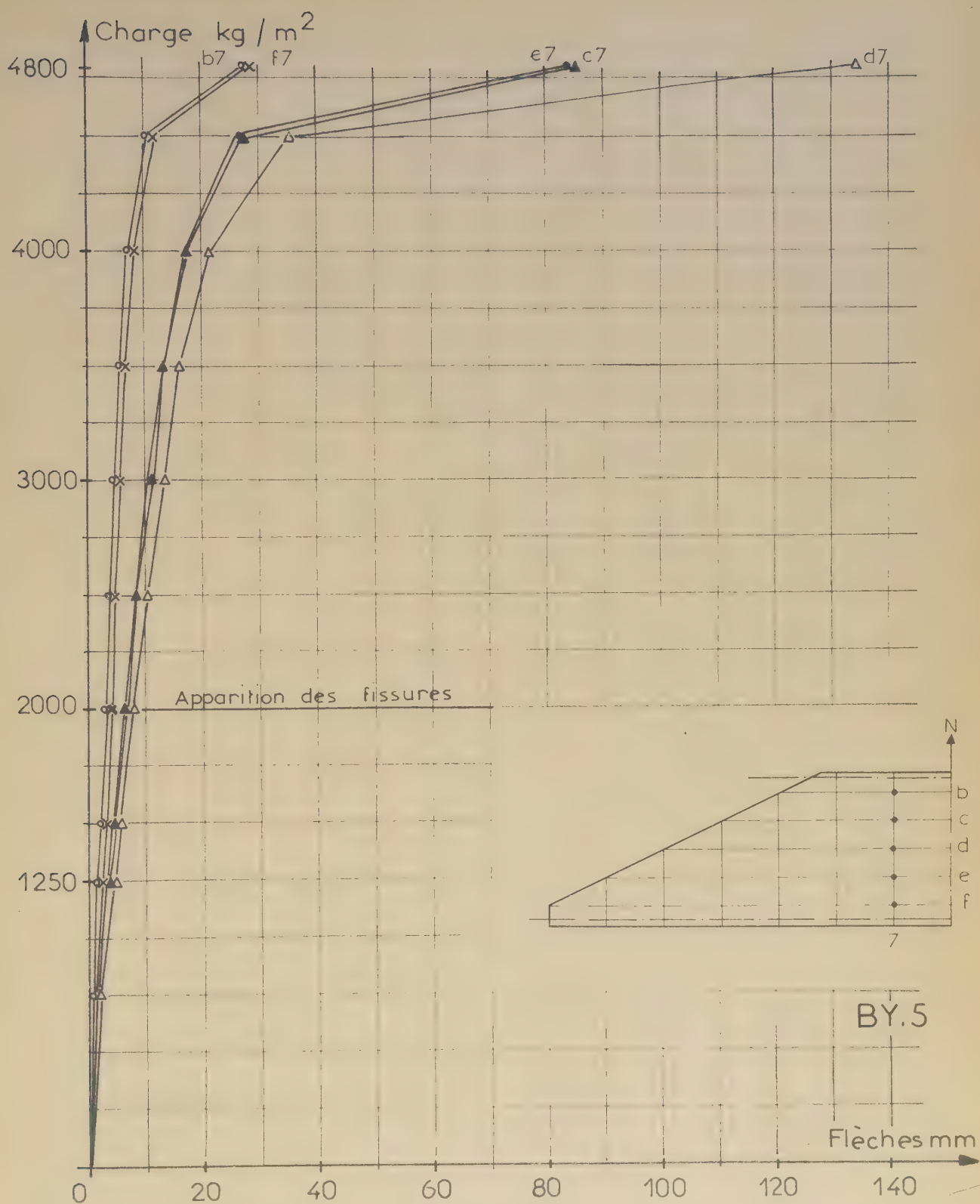


FIGURE 14 - Evolution des flèches en fonction des charges appliquées

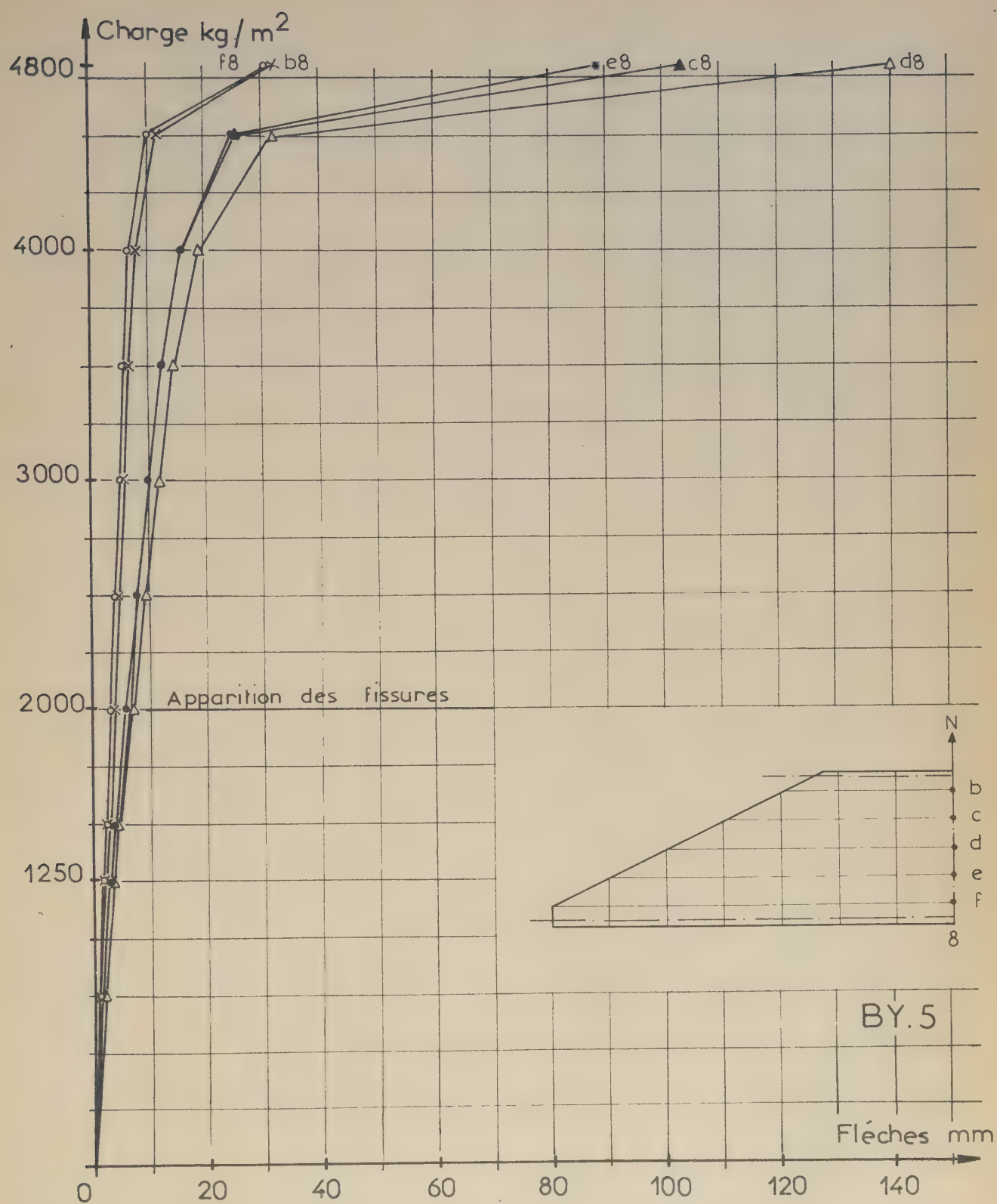


FIGURE 15 - Evolution des flèches en fonction des charges appliquées

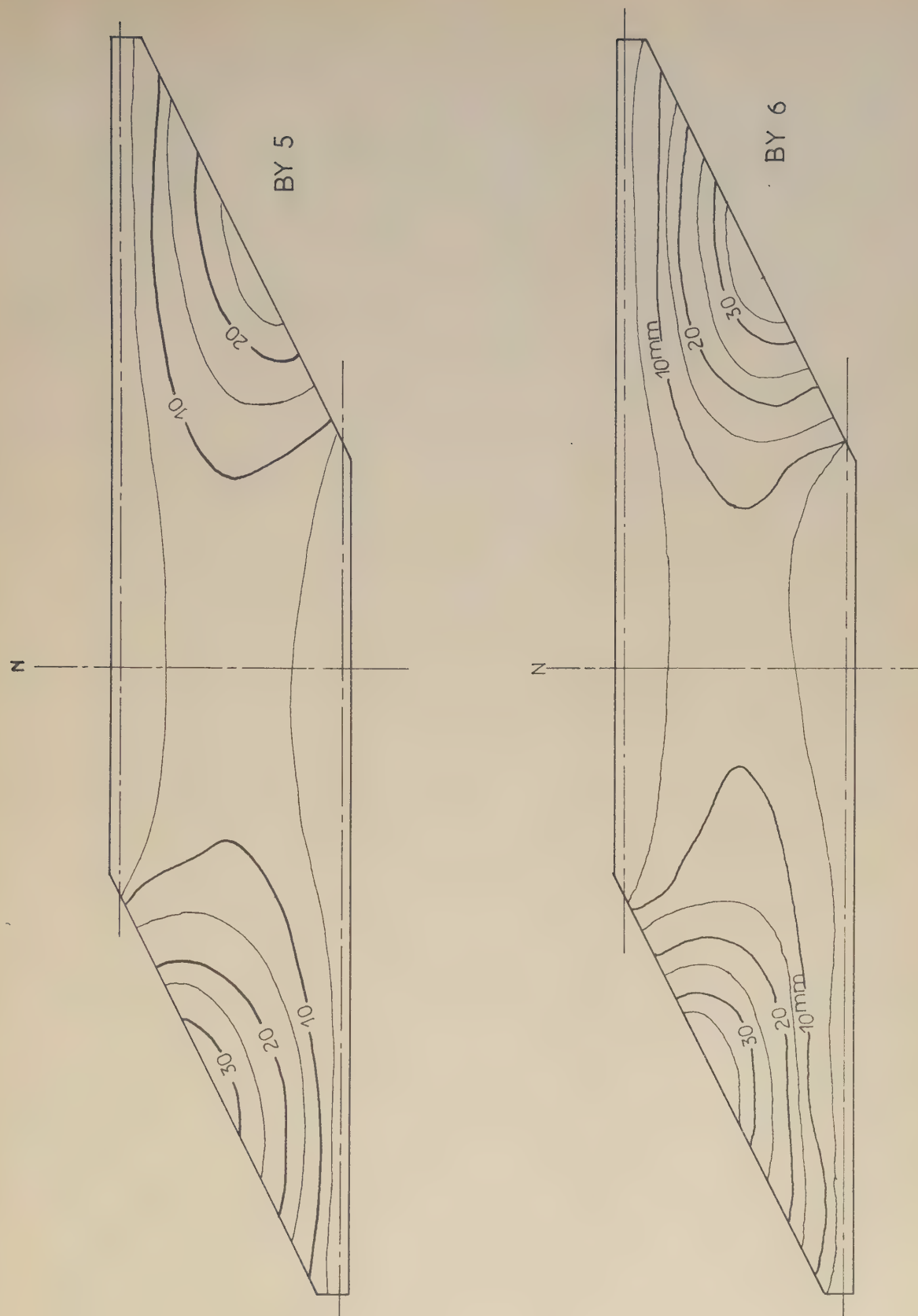


FIGURE 16 - Déformées des dalles sous la charge de 2 000 kg/m²

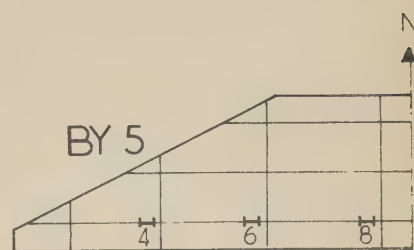
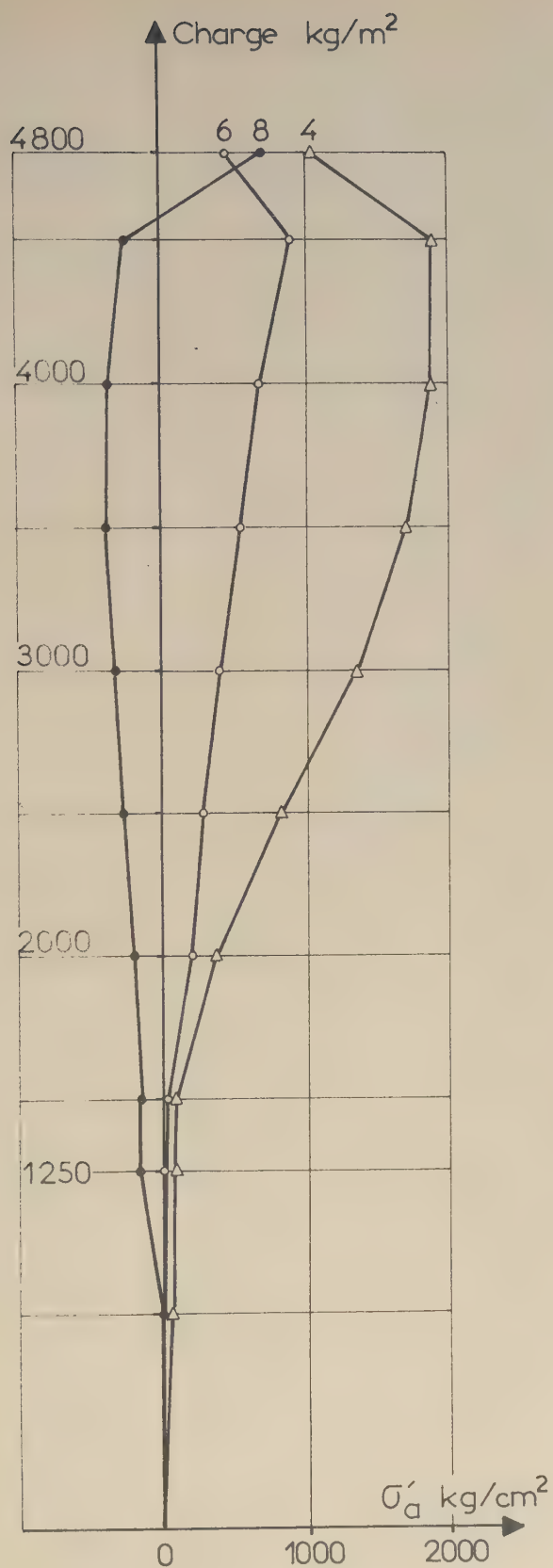


FIGURE 17 - Evolution des contraintes dans les aciers en fonction des charges appliquées

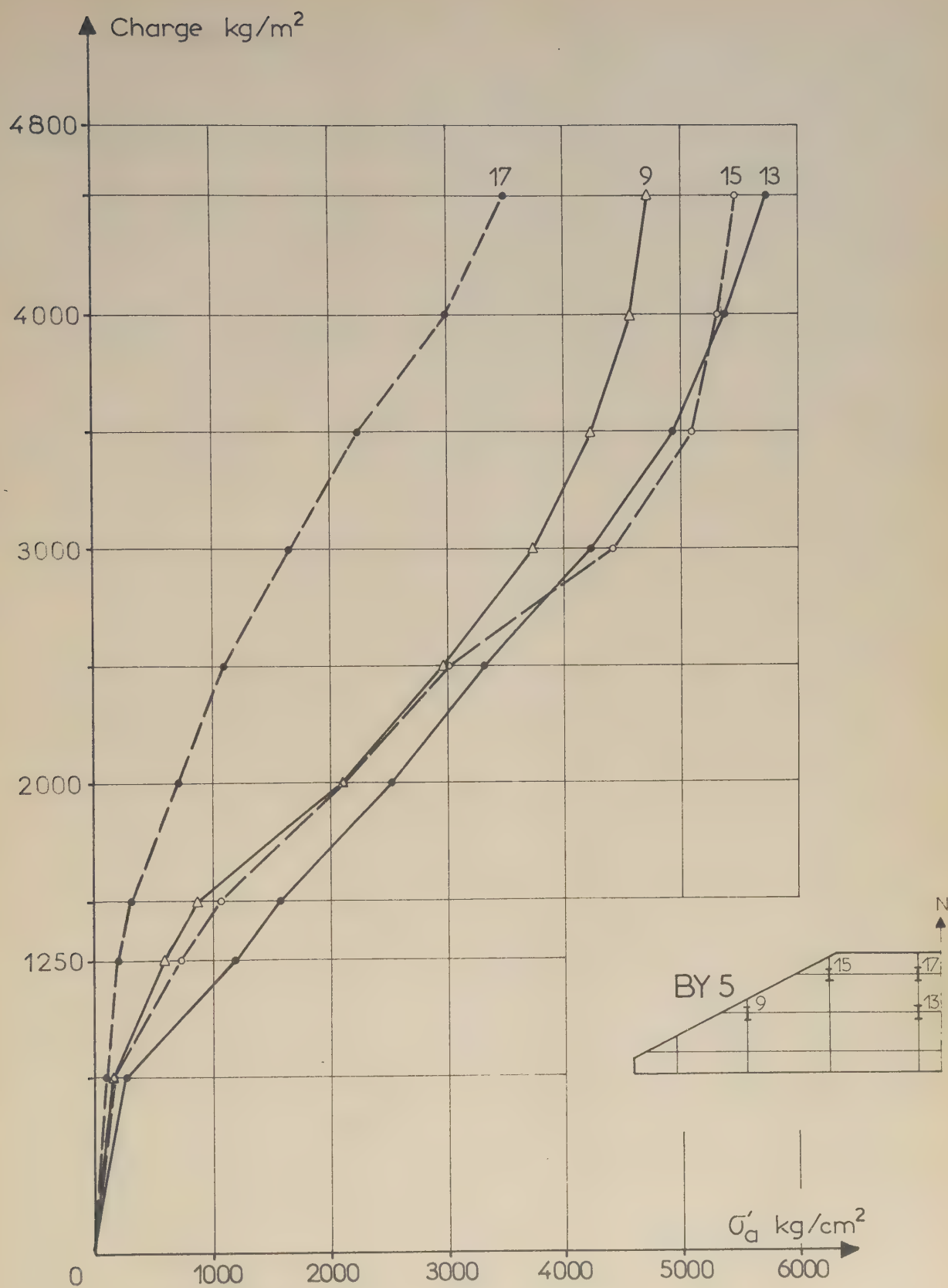


FIGURE 18 - Evolution des contraintes dans les aciers en fonction des charges appliquées

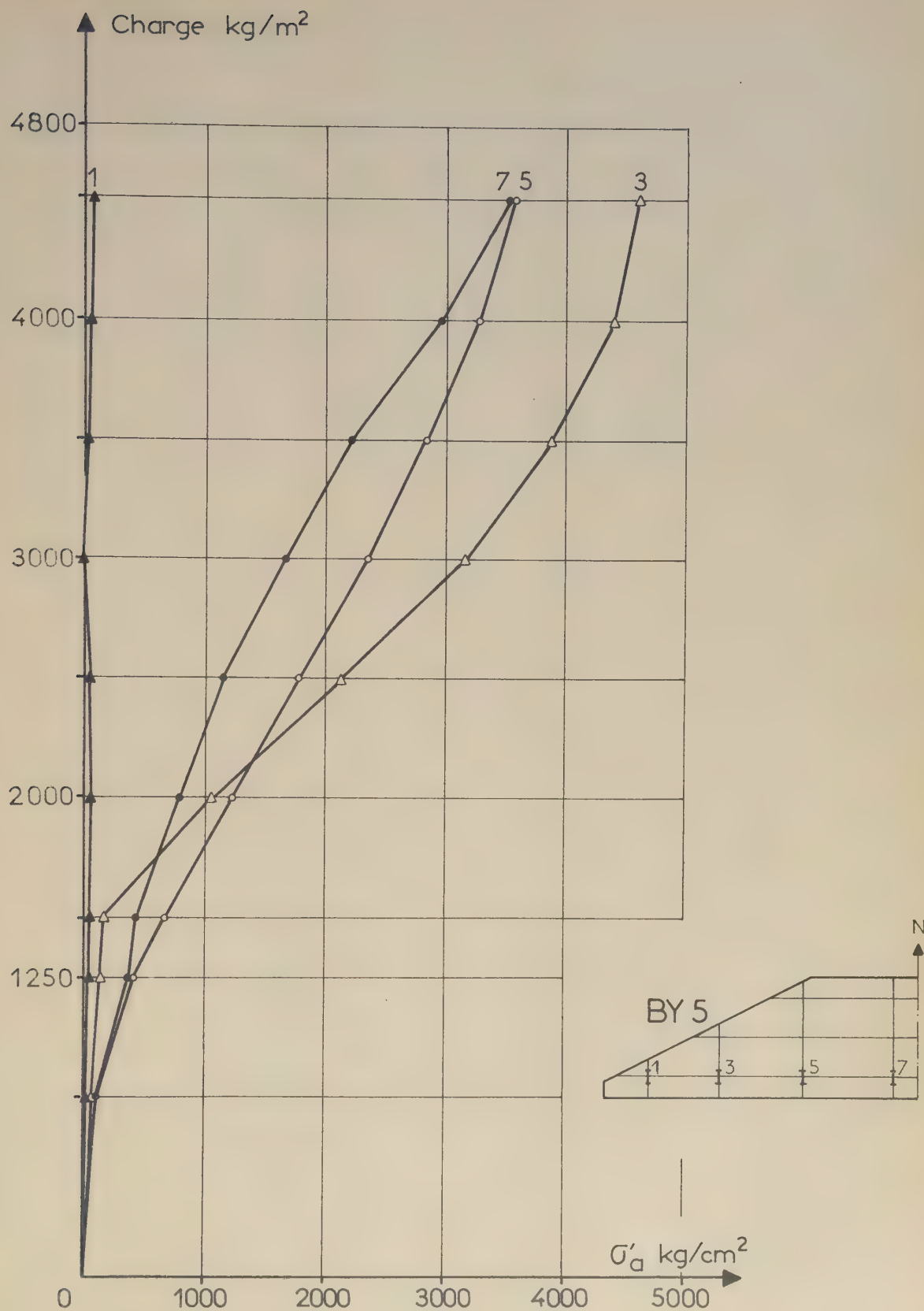


FIGURE 19 - Evolution des contraintes dans les aciers en fonction des charges appliquées

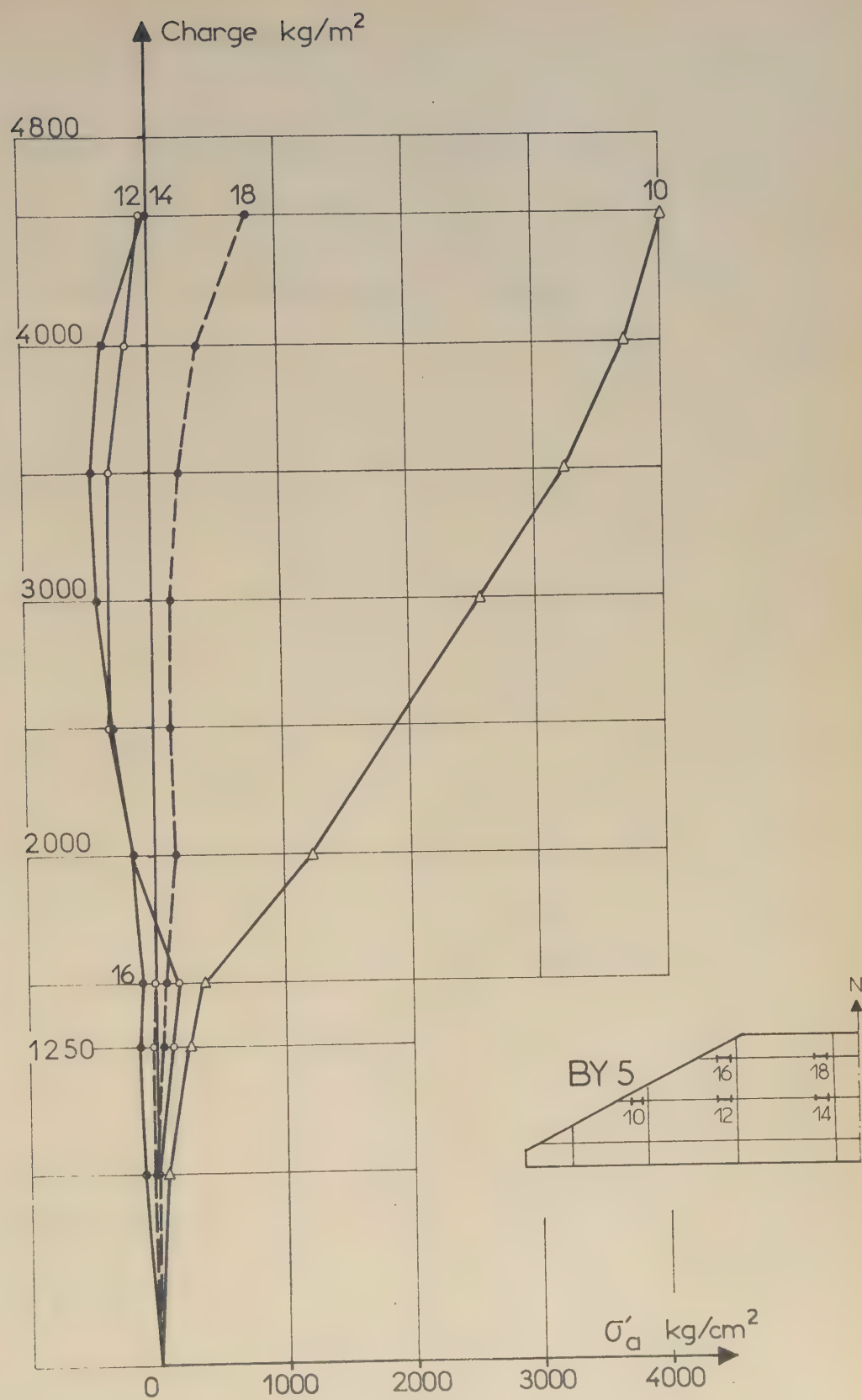


FIGURE 20 - Evolution des contraintes dans les aciers en fonction des charges appliquées

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

"Transmission de chaleur par rayonnement dans les fours".

Vu et approuvé :

Paris, le 29 Mai 1969

Le Doyen de la Faculté des Sciences
de Paris

Marc ZAMANSKY

Vu

et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie
de Paris

Jean ROCHE

